

В. В. ЗОЛОТУХИН, Г. Д. УШАКОВ, В. В. РЯБОВ

## О МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СУЛЬФИДНОГО МАТЕРИАЛА В СПЛОШНЫХ НОРИЛЬСКИХ РУДАХ

(Представлено академиком В. А. Кузнецовым 9 VI 1972)

Многими исследователями норильских руд отмечались факты механического нарушения вмещающих интрузивных и осадочных пород в контакте с маломощными сульфидными «жилами внедрения» и их апофизами явно под воздействием сульфидного материала. К ним относятся раздвигание трещин иногда с разрывом «прослоев» вмещающих пород, присутствие среди сульфидов остроугольных отторженцев — «ксенолитов» вмещающих пород и т. д. Характерным здесь является почти полное отсутствие каких-либо высокотемпературных метасоматических и метаморфических воздействий на вмещающие породы со стороны сульфидов, а иногда и отсутствие ореола околожилной вкрапленности. Проникновение по трещинам с их раздвижением и выклинивающимися окончания подобны жил и прожилков как будто бы свидетельствуют о напорном внедрении сульфидного материала с проявлением эффекта гидроразрыва, как это уже отмечалось в литературе А. В. Тарасовым <sup>(1)</sup>. Для случая сравнительно вязкой магматической силикатной жидкости цифровые оценки условий движения «ползущего клина» в литературе известны (например, <sup>(3)</sup>). По аналогии и в рассматриваемом случае можно полагать, что для этого будет достаточно некоторого превышения гидростатического давления внедряющегося материала над литостатическим — вмещающей толщ. Такое превышение, как считают все исследователи (например, <sup>(1, 7, 8)</sup>), могут обеспечить локально проявляющиеся стрессовые тектонические нагрузки, отжимающие сульфидный материал с использованием плоскостей разного рода механических нарушений. В отличие от предыдущих исследователей этого вопроса <sup>(1, 7)</sup>, мы исходим из отправного момента, что источником материала для «жил внедрения» могли быть скопления сплошных «руд замещения» метасоматического генезиса, как в интрузии, так и ее экзоконтакте. В условиях разной пластичности интрузивных пород и сульфидов при достаточно высоких значениях температуры и давления при наличии стрессовых нагрузок более пластичные из них (сульфиды) должны «залечивать» механические нарушения в более хрупких (интрузивные и другие силикатные породы). Эти положения требовали экспериментальной проверки, которая и была проведена Г. Д. Ушаковым в лаборатории экспериментальной тектоники института на оригинальной установке.

Первая серия экспериментов над габбро-долеритами норильских интрузий в условиях температур 500°\*, всестороннего давления 1000 и 2000 бар при стрессовых нагрузках показала, что в этих условиях породы обнаруживают ярко выраженные упругие деформации с дальнейшим хрупким разрушением образцов, а также со структурами трещиноватости типа «песочных часов» (рис. 1, I).

Вторая серия экспериментов над образцами сплошных сульфидов (в основном пирротин) при тех же условиях (500°; 1000 и 2000 бар) при стрессе

\* Именно при этих температурах по мнению одних исследователей <sup>(1)</sup> возникает здесь основная масса сульфидных руд, а по другим <sup>(2)</sup> — заканчивается формирование основной массы пирротина.

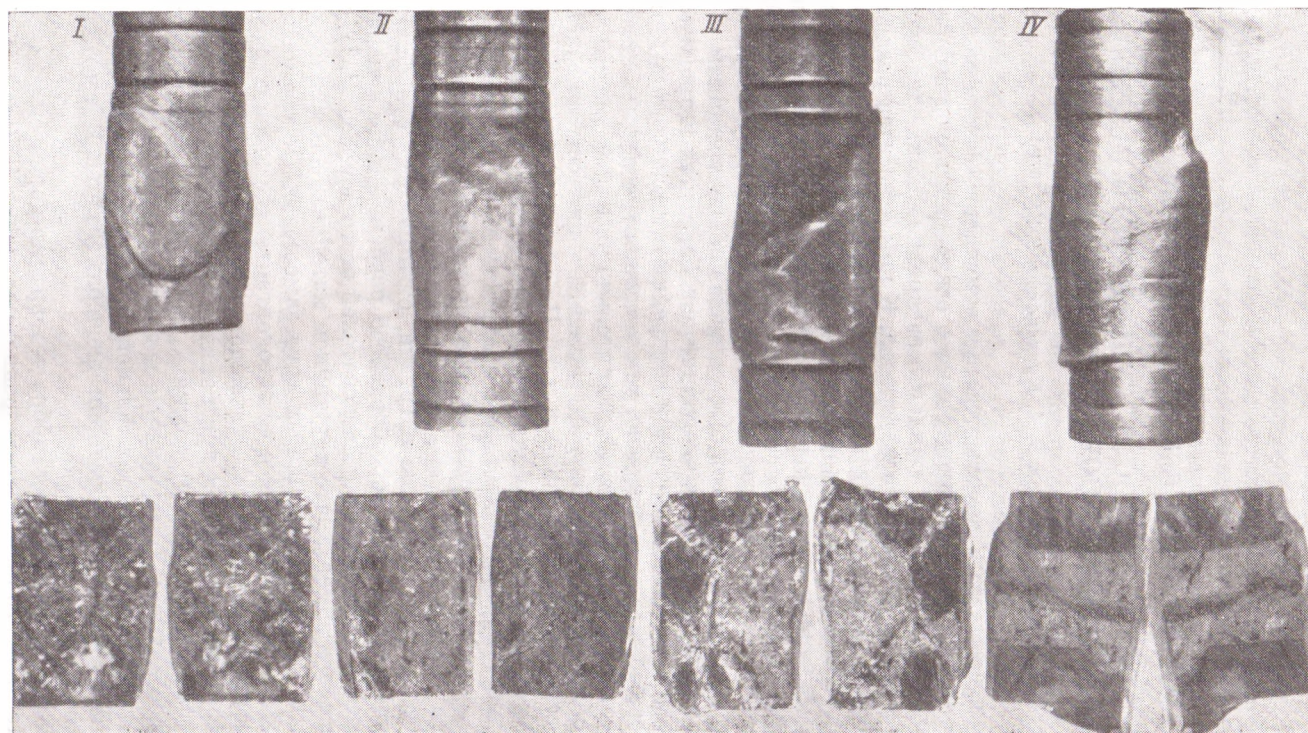


Рис. 1. Характер деформации испытываемых образцов (вверху — в медной упаковочной гильзе, внизу — в разрезе). *I* — хрупкая деформация в пикриновом габбро-долерите (обр. № 22); *II* — пластичные деформации в сплошных сульфидах (обр. № 20А); *III* — деформация сульфидов, включающих до 50% от общего объема реликтов силикатной породы (обр. № 24); *IV* — деформации образца, приготовленного из переслаивающихся пластинок (таблеток) сульфидов и безрудных долеритов (обр. № 27)



показала ярко выраженную пластичность сульфидов с боченковидными формами образцов без хрупкого разрушения (рис. 1, II). При 200° и 500 бар в подобных образцах обнаруживается уже хрупкое разрушение.

Третья серия экспериментов над образцами руд, в равной степени содержащими сплошные сульфиды и реликты вмещающих их метаморфизованных габбро-долеритов, при температуре 500°, всестороннем давлении 1000 и 2000 бар и стрессе показала хрупкие деформации пород и пластичное поведение сульфидов с проникновением сульфидного материала в часть вновь образовавшихся сколовых трещин пород с возникновением вдоль них рельефных скоплений-вздутий, просматривающихся даже через упаковочную медную гильзу (рис. 1, III).

Четвертая серия экспериментов проведена со специально приготовленными образцами: 1) безрудных долеритов совместно с переслаивающимися пластинками (таблетками) из пирротина поперек оси цилиндрической упаковочной гильзы при 500° и 500 бар и 2) безрудных долеритов с пластинкой из пирротина вдоль оси цилиндра при 500° и 1000 бар. Опыты показали в обоих случаях ярко выраженные хрупкие деформации пород вплоть до будинажа срединной пластинки долерита среди сульфидных пластин с затеками микропрожилков сульфидов и выдавливанием микроблоков долерита сульфидами (рис. 1, IV), находящимися даже при давлении 500 бар в пластичном и достаточно легко подвижном состоянии. Заметим попутно, что это давление лишь незначительно превышает имеющиеся оценки давления литостатической нагрузки для норильских и талнахских рудоносных интрузий в момент их формирования (<sup>1, 4, 5</sup>).

На рис. 2, иллюстрирующем зависимость между относительной деформацией  $\epsilon$  и стрессовой нагрузкой  $P$ , кривые 1–3 дают представление о поведении трех групп образцов, испытанных при 500° и всестороннем давлении 2000 бар: 1 — монолитные породы (пикритовые габбро-долериты, обр. № 23); 2 — монолитные породы (обр. № 20А); 3 — неоднородные руды (до 50% силикатной массы среди сульфидов, обр. № 24). Только для первой группы отмечается резкая ступенька, характеризующая хрупкое разрушение образцов. Кривые других групп не имеют такой ступени, а имеют постепенный пологий переход, характеризующий пластическую деформацию образцов. Как выясняется, величина стрессового давления, необходимого для фиксирования пластичности, максимальна для монолитных пород (3300 бар), гораздо меньше она для монолитных сульфидов (2300 бар) и минимальна для неоднородных руд с многочисленными реликтами силикатов (1500 бар). Отсюда следует, что: 1) при  $P_{\text{общ}} > 5000$  бар (3300 + 2000 бар) и  $t = 500^\circ$  габбро-долериты уже становятся пластичными, что согласуется с литературными данными для базальтов (<sup>9</sup>), и 2) в неоднородной деформационной системе силикаты — сульфиды требуются минимальные стрессовые нагрузки для проявления пластического течения сульфидов (до 500–1500 бар).

Микроскопическое сравнительное изучение соответствующих образцов до и после эксперимента позволяет заметить в аншлифах деформированных сплошных сульфидов многочисленные двойники смятия (<sup>8</sup>), (рис. 410) в пирротине. Обычно они изогнутые и пloyчатые без разрыва сплошности, что указывает на изгиб их в пластичном состоянии. Направление двойников часто перпендикулярно направлению стресса. В образцах испытываемых пикритовых габбро-долеритов сульфидные вкрапленники обычно не несут следов деформации, которые фиксируются в породе обычно лишь системой сколовых трещин (рис. 1, I). В образцах сульфидов с многочисленными реликтами силикатов трещины сдвига прослеживаются именно

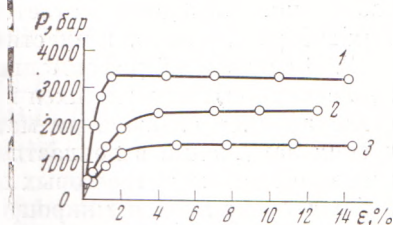


Рис. 2. Зависимость показателя деформации ( $\epsilon$ ) образцов от стрессового давления ( $P$ ). Объяснение в тексте

в силикате, а из участков сплошного рудного материала последний отжимается вдоль трещин, чаще между упаковочной гильзой и самим образцом, и выплывает их частично или полностью (см. рис. 1, III).

Сказанное выше дает основание для следующих выводов:

1. Области пластичности габбро-долеритов и сульфидов не перекрываются при *PT*-условиях, отвечающих здесь условиям интенсивного рудообразования. Последние соответствуют промежуточной области непластичных габбро-долеритов и пластичного состояния сульфидов.

2. В совместной деформационной системе из двух пород (пластичной и непластичной), находящихся при данных общих *PT*-условиях, имеет место «залечивание» пластичным материалом (сульфидами) некоторых механических нарушений в непластичной породе (долериты и габбро-долериты), возникающих при стрессовых дополнительных нагрузках. Образование подобных прожилков и микропрожилков является моделью вероятного возникновения природных сульфидных «жил внедрения» норильского типа.

3. Источником сульфидного материала для «жил внедрения» может быть не только гипотетическая сульфидная магма (<sup>1</sup>), но и реальный твердый сульфидный материал метасоматических «жил замещения», механически активизированный стрессовыми тектоническими нагрузками в условиях достаточно высокой температуры и находящийся в пластичном состоянии.

Отсюда и двойственность признаков сульфидного материала, присущих как жидкости, так и твердым метасоматическим образованиям.

Институт геологии и геофизики  
Сибирского отделения Академии наук СССР  
Новосибирск

Поступило  
29 V 1972

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> М. Н. Годлевский, Траппы и рудоносные интрузии Норильского района, 1959.  
<sup>2</sup> В. В. Золотухин, Н. И. Зюзин и др., Геология и геофизика, № 2 (1966). <sup>3</sup> В. В. Золотухин, В. Н. Шарапов, Сов. геол., № 8 (1968). <sup>4</sup> В. В. Золотухин, Основные закономерности протектоники и вопросы формирования рудоносных трапповых интрузий, «Наука», 1964. <sup>5</sup> В. В. Золотухин, В. В. Рябов и др., Петрология Талнахской дифференциальной трапповой интрузии и метаморфические изменения, с нею связанные, «Наука», 1974. <sup>6</sup> П. Рамдор, Рудные минералы и их сростания, ИЛ, 1962.  
<sup>7</sup> А. В. Тарасов, Уч. зап. Н.-и. инст. геол. Арктики, сборн. 9, 1966. <sup>8</sup> А. В. Тарасов, Уч. зап. н.-и. инст. геол. Арктики, регион геол., в. 12 (1968). <sup>9</sup> D. Griggs, F. Turner, H. Heard, Geol. Soc. Am. Memoir, v. 79 (1960).